〈目次〉

第１講　遺伝子の発現とその調節 …… p. 2

第２講　生殖と発生 …… p. 10

第３講　生物の環境応答 …… p. 18

第４講　生態系と進化 …… p. 24

第１講　遺伝子の発現とその調節

【１】 次の文章を読み，問１～問４に答えよ。

①遺伝子の発現制御は，細菌から動植物に至るまですべての細胞に備わっている機能である。

原核生物における遺伝子の発現調節は，栄養条件の変化が関与していることが知られている。②原核生物である大腸菌は通常炭素源としてグルコースを利用するが，ラクトースなどの糖も利用できる。ラクトースを代謝するためのいくつかの酵素遺伝子（β-ガラクトシダーゼなど3種類の酵素）は，DNAの別の場所に存在する調節遺伝子によって発現が制御されている。調節遺伝子から作られる調節タンパク質（リプレッサー）は［ 1 ］が結合するプロモーターのすぐそばにある［ 2 ］に結合する。また，調節タンパク質の［ 2 ］への結合は，ラクトースに由来する誘導物質によって調節されている。このように，大腸菌では複数のタンパク質をコードする遺伝子群が1つのプロモーターによって調節される。これら遺伝子群とそれらの発現を調節するDNA配列のまとまりのことを［ 3 ］という。

一方，真核生物のDNAはヒストンなどと結合して［ 4 ］とよばれる構造を形成している。［ 4 ］は折りたたまれ，クロマチン繊維を形作っている。このような状態では遺伝子の発現調節は起こらないが，ヒストンが修飾を受けてDNAとの結合が弱くなることで，DNAのプロモーター領域に基本転写因子や［ 1 ］が結合できるようになり，遺伝子の転写が開始される。プロモーター領域から離れた位置には転写調節領域があり，この領域に結合したリプレッサーや活性化因子などの転写調節因子が転写複合体に作用して転写を調節する。③転写調節領域は1つの遺伝子に対して複数存在することが多く，さまざまな刺激に応答して転写調節がおこなわれている。

問１　文章中の［ 1 ］～［ 4 ］にあてはまる語句を記せ。

問２　下線部①について，遺伝子の発現制御と関係ないものはどれか。以下の(ア)～(オ)から１つ選び，記号で答えよ。

(ア)　筋肉の前駆細胞である筋芽細胞が筋管細胞へと分化する。

(イ)　キイロショウジョウバエのだ腺染色体にパフが観察される。

(ウ)　筋収縮において，アクチンフィラメントがサルコメアの中央部に滑り込む。

(エ)　ステロイドホルモンが核内受容体に結合する。

(オ)　mRNAの一部と同じ塩基配列をもつ短い2本鎖RNAが細胞中にあると，mRNAが分解される。

問３　下線部②について，培地に炭素源としてグルコースとラクトースを等量加え大腸菌を培養した。以下の問に答えよ。

⑴　グルコースとラクトースの量の変化について，最も適当なものを図１の㋐～㋓から１つ選び，記号で答えよ。

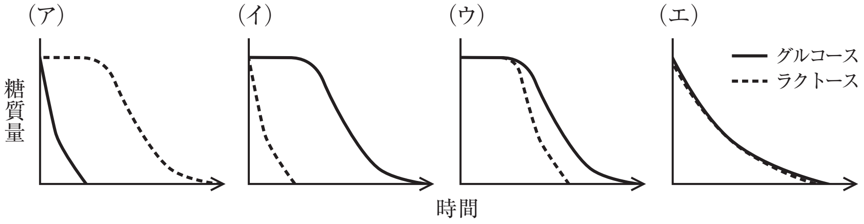

図１

⑵　β－ガラクトシダーゼの発現はどのように変化するか。図１における培地中の糖質量の変化を踏まえ，50字以内で説明せよ。

問４　下線部③について，遺伝子の発現調節機構を確かめるために，図２に示すようなレポーターアッセイという実験をおこなった。ある遺伝子の上流域の転写調節領域を図2左側のようにさまざまな長さに分け，発光酵素であるルシフェラーゼ遺伝子を結合させた(遺伝子Ａ～Ｉを作製)。その後，遺伝子Ａ～Ｉを含むプラスミドをそれぞれ培養細胞へ導入し，24時間後に細胞からルシフェラーゼを含むタンパク質抽出物を得た。回収されたタンパク質をルシフェラーゼの基質であるルシフェリンと反応させたところ，図２右側のような発光強度の結果を得た。本実験ではそれぞれの遺伝子が細胞へ導入される割合は同じであるとし，細胞ごとの翻訳効率は同等とする。また，転写調節領域どうしの結合による相乗効果の影響はないものとする。以下の問に答えよ。

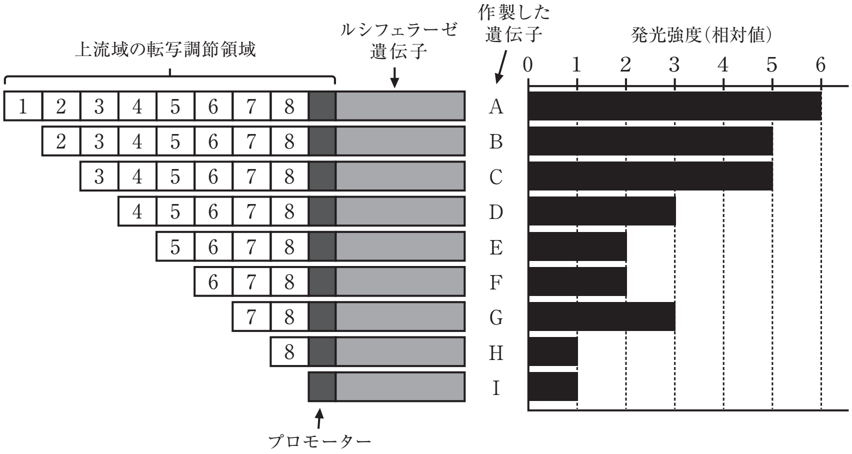

図２

(1)　上流域の転写調節領域について,転写を促進および抑制する領域はどこか。転写促進・抑制領域を，１～８からすべて選び，番号で答えよ。

(2)　上流域の転写調節領域4に転写調節因子と結合できないような点変異を施した遺伝子A′を作製した。遺伝子A′を使った時の発光強度は遺伝子Ａと比べて，どのように変化するか。以下の(ア)～(ウ)から１つ選び，記号で答えよ。

(ア)　発光強度が増加する。　(イ)　発光強度が減少する。

(ウ)　発光強度は変化しない。

⑶　上流域の転写調節領域を選んで図３に示すような遺伝子J～Mを作製した。これら4種類の遺伝子を使った時の発光強度はどのようになるか。最も適当なものを図４の㈠～㈤から１つ選び，記号で答えよ。ただし，図4は発光強度の一番低い値を１として表している。

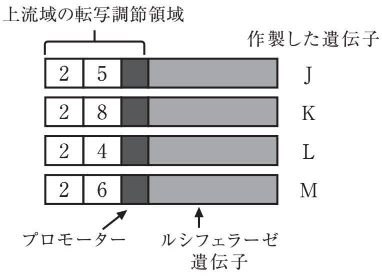

図３

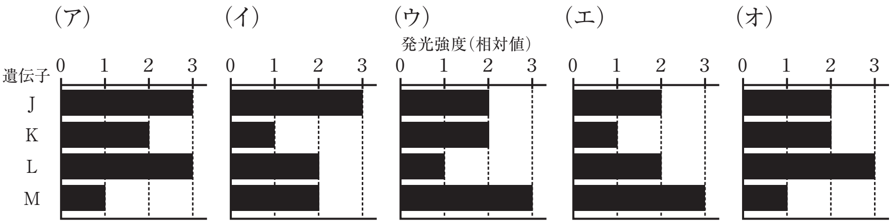

図４

【2】

近年，RNAを用いたバイオテクノロジーの発展が著しい。マイクロRNAとよばれる短い２本鎖RNAから生じた１本鎖のRNAがタンパク質と結合してRISCとよばれる複合体を形成し，このRISC複合体により(a)遺伝子発現が抑制される現象が［ア］である。［ア］は，特定の遺伝子の発現量を低下させる技術として，現代の生命科学研究に応用されている。

また，RNAの機能を利用することにより，天然には存在しないアミノ酸（非天然アミノ酸）を導入したタンパク質を生物に作らせることもできる。大腸菌にはUAGコドンに対応するtRNAがなく，UAGは終止コドンとして働く。一方，一部の古細菌のtRNAの一つ（$tRNA^{Arc}$とよぶ）はUAGコドンに対してチロシンを運搬できることが知られている。$tRNA^{Arc}$を利用し，UAGコドンに対して非天然アミノ酸の一つであるヨードチロシンを導入できる大腸菌を作製するために，以下の実験をおこなった。

〔実験1〕

大腸菌には多数のUAG終止コドンが存在するが，このうち，大腸菌の生存において終止コドンとして厳密に機能する必要のあるUAG終止コドンは7つのみである。UAGを終止コドンからアミノ酸を指定するコドンへと改変するため，まず，これらの(b)7つの必須なUAG終止コドンを他のコドンへと置換し，得られた大腸菌を大腸菌－１株と命名した。次に，図１に示す２種類のプラスミド（p－$tRNA^{Arc}$およびp－proX－GFP）を大腸菌－１株に導入し，これを大腸菌－２株と命名した。p－$tRNA^{Arc}$は，$tRNA^{Arc}$の遺伝子の発現プラスミドであり，p－proX－GFPは(c)タンパク質Xの遺伝子，および3箇所のコドンがUAGに置換された緑色蛍光タンパク質（GFP）の遺伝子の発現プラスミドである。２種類の抗生物質（クロラムフェニコールとテトラサイクリン）を含む栄養培地で大腸菌－2株を培養し，$tRNA^{Arc}$の遺伝子，タンパク質Xの遺伝子，および３箇所のコドンがUAGに置換されたGFPの遺伝子を発現させた結果，GFPの蛍光が観測され，大腸菌－２株がGFPの遺伝子のUAGコドンに対してチロシンを導入できることが確認された。

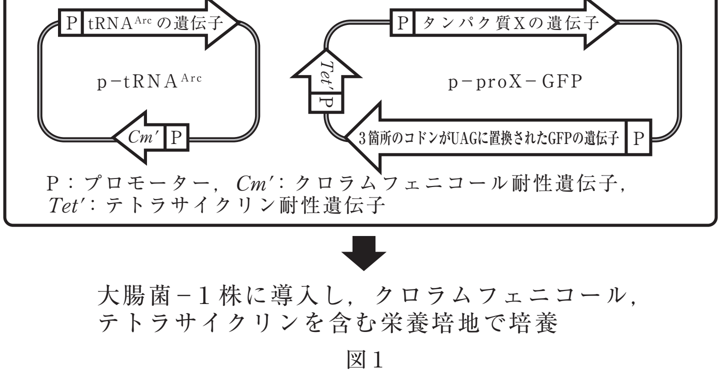

図１

〔実験２〕

大腸菌－２株は，GFPの遺伝子のUAGコドンに対してチロシンを導入できたが，その導入効率は十分ではなく，UAGの部位までしか翻訳されていない不完全長のGFPの発現が見られた。これを改善するために，まず，大腸菌－１株の(d)タンパク質Yの遺伝子を欠損させ，得られた大腸菌を大腸菌－3株と命名した。大腸菌－3株にp－$\mathrm{tRNA}^{\mathrm{Arc}}$およびp－proX－GFPを導入して，$\mathrm{tRNA}^{\mathrm{Arc}}$の遺伝子，タンパク質Xの遺伝子，および3箇所のコドンがUAGに置換されたGFPの遺伝子を発現させたところ，GFPの遺伝子のすべてのUAGコドンに対してチロシンが導入された。

〔実験3〕

次に，以下の実験をおこない，UAGコドンに対してチロシンではなくヨードチロシンを導入できるように，タンパク質Xの機能を改変した。

タンパク質Xの４つの重要なアミノ酸残基を選択し，これらに対応するコドンに無作為に変異を導入し，約10^8種類の変異型タンパク質X遺伝子の発現プラスミドの混合物(p－proX変異体ライブラリー)を得た(図２)。p－proX変異体ライブラリーと，$\mathrm{tRNA}^{\mathrm{Arc}}$の遺伝子，および２番目のコドンがUAGに置換された(e)タンパク質Zの遺伝子の発現プラスミド(p－$\mathrm{tRNA}^{\mathrm{Arc}}$－proZ)を大腸菌－３株に導入し(図２)，(f)テトラサイクリン，クロラムフェニコール，アンピシリン，およびヨードチロシンを含む栄養培地中で培養したところ，複数のコロニーが得られた。得られたコロニーの一部を用い，(g)ある条件下での生育を確認することにより１つのコロニーを得て，その大腸菌が発現する変異型タンパク質Xをヨードチロシン型タンパク質Xと命名した。$\mathrm{tRNA}^{\mathrm{Arc}}$の遺伝子，およびヨードチロシン型タンパク質Xの遺伝子を発現させることにより，大腸菌－３株はUAGに対応する部位に効率よくヨードチロシンを導入することができるようになった。

なお，各々の大腸菌にはp－proX変異体ライブラリーのうちの1種類のプラスミドとp－$\mathrm{tRNA}^{\mathrm{Arc}}$－proZが導入されており，また，ヨードチロシンを培地中に添加しても大腸菌の生育には影響を与えないものとする。

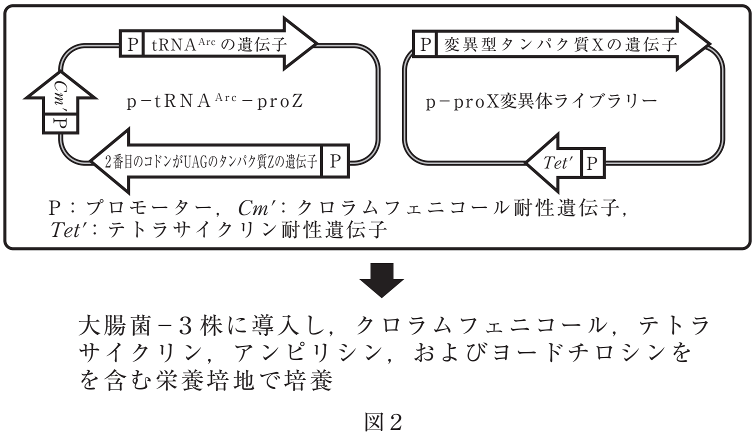

図2

問(1)　文中の ア に最も適切な語句を入れよ。

問(2)　下線部(a)について，RISCは２種類の機構で遺伝子発現を抑制する。どのような機構かをそれぞれ15字以内で記せ。

問(3)　下線部(b)において，置換することが可能なコドンを表１の遺伝暗号表よりすべて選び，そのコドンを記せ。

表１　遺伝暗号表

<table>
<tr><td colspan="2" rowspan="2"></td><td colspan="4">2番目の塩基</td><td colspan="2" rowspan="2"></td></tr>
<tr><td>U</td><td>C</td><td>A</td><td>G</td></tr>
<tr><td rowspan="16">1番目の塩基</td><td rowspan="4">U</td><td rowspan="2">フェニルアラニン</td><td rowspan="4">セリン</td><td rowspan="2">チロシン</td><td rowspan="2">システイン</td><td>U</td><td rowspan="16">3番目の塩基</td></tr>
<tr><td>C</td></tr>
<tr><td rowspan="2">ロイシン</td><td rowspan="2">終止コドン</td><td>終止コドン</td><td>A</td></tr>
<tr><td>トリプトファン</td><td>G</td></tr>
<tr><td rowspan="4">C</td><td rowspan="4">ロイシン</td><td rowspan="4">プロリン</td><td rowspan="2">ヒスチジン</td><td rowspan="4">アルギニン</td><td>U</td></tr>
<tr><td>C</td></tr>
<tr><td rowspan="2">グルタミン</td><td>A</td></tr>
<tr><td>G</td></tr>
<tr><td rowspan="4">A</td><td rowspan="3">イソロイシン</td><td rowspan="4">トレオニン</td><td rowspan="2">アスパラギン</td><td rowspan="2">セリン</td><td>U</td></tr>
<tr><td>C</td></tr>
<tr><td rowspan="2">リシン</td><td rowspan="2">アルギニン</td><td>A</td></tr>
<tr><td>メチオニン</td><td>G</td></tr>
<tr><td rowspan="4">G</td><td rowspan="4">バリン</td><td rowspan="4">アラニン</td><td rowspan="2">アスパラギン酸</td><td rowspan="4">グリシン</td><td>U</td></tr>
<tr><td>C</td></tr>
<tr><td rowspan="2">グルタミン酸</td><td>A</td></tr>
<tr><td>G</td></tr>
</table>

問(4)　下線部(c)タンパク質Xに関する記述として最も適切なものを以下から１つ選び，番号を記せ。

①　mRNAのUAGコドンにチロシンを結合させるタンパク質である。
②　mRNAのオペレーター領域にチロシンを結合させるタンパク質である。
③　$tRNA^{Arc}$のアンチコドン領域にチロシンを結合させるタンパク質である。
④　$tRNA^{Arc}$の3′末端にチロシンを結合させるタンパク質である。
⑤　リボソームの大サブユニットにチロシンを運搬するタンパク質である。
⑥　リボソームの小サブユニットにチロシンを運搬するタンパク質である。

問(5)　下線部(d)タンパク質Ｙはどのような機能のタンパク質だと考えられるか。25字以内で記せ。

問(6)　下線部(e)タンパク質Ｚはどのような機能のタンパク質だと考えられるか。25字以内で記せ。

問(7)　下線部(f)に関して，この条件下で大腸菌コロニーが生育するために必要とされるUAGコドンの役割を40字以内で記せ。ただし，アルファベットも１文字として扱うこととする。

問(8)　下線部(g)に関する以下の問に答えよ。

　ある条件下での生育の可否を確認することにより，UAGコドンに対してヨードチロシンを導入する大腸菌コロニーを選別した。選別の方法として最も適当なものを以下から１つ選び，番号を記せ。

①　テトラサイクリンを含みヨードチロシンを含まない培地に植え継いだときには生育できないコロニーを選ぶ。

②　クロラムフェニコールを含みヨードチロシンを含まない培地に植え継いだときには生育できないコロニーを選ぶ。

③　アンピシリンを含みヨードチロシンを含まない培地に植え継いだときには生育できないコロニーを選ぶ。

④　テトラサイクリンを含みヨードチロシンを含まない培地に植え継いだときにも生育できるコロニーを選ぶ。

⑤　クロラムフェニコールを含みヨードチロシンを含まない培地に植え継いだときにも生育できるコロニーを選ぶ。

⑥　アンピシリンを含みヨードチロシンを含まない培地に植え継いだときにも生育できるコロニーを選ぶ。

テキスト解答

第１講

【1】

問１　1　RNAポリメラーゼ　　2　オペレーター
　　　3　オペロン　　　　　　4　ヌクレオソーム

問２　(ウ)

問３

(1)　(ア)

(2)　グルコースが枯渇し，ラクトースのみの培地になると，β-ガラクトシダーゼの発現が上昇する。

問４

(1)　転写促進領域…1，3，4，7　　転写抑制領域…6

(2)　(イ)　　(3)　(オ)

【2】

問(1)　RNA干渉

問(2)　・mRNAを分解する機構。　　・mRNAの翻訳を阻害する機構。

問(3)　UAA，UGA　　　問(4)　④

問(5)　解答例：UAG配列を認識して翻訳を終了させる機能。

問(6)　解答例：アンピシリンが存在する培地で生育可能にする機能。

問(7)　$tRNA^{Arc}$がアミノ酸を運んできた場合のみ，タンパク質Zの翻訳を進める役割。

問(8)　③